



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 41 33 723 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 02 K 21/12**  
H 02 K 1/27

②① Aktenzeichen: P 41 33 723.9  
②② Anmeldetag: 11. 10. 91  
②③ Offenlegungstag: 15. 4. 93

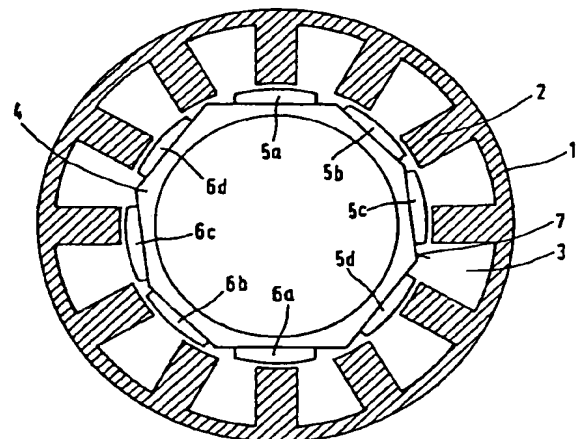
DE 41 33 723 A 1

⑦① Anmelder:  
ZF Friedrichshafen AG, 7990 Friedrichshafen, DE

⑦② Erfinder:  
Leutner, Wilfried, 7070 Schwäbisch Gmünd, DE

⑤④ **Drehfeldmotor**

⑤⑦ In der vorliegenden Erfindung wird ein Drehfeldmotor mit einem Stator (1), dessen Zahnung verhältnismäßig grob ist, und einem darin befindlichen Rotor (4), auf dessen Mantelfläche Einzel-Permanentmagnete (5, 6) aufgebracht sind, vorgestellt. Die Besonderheit des Rotors besteht darin, daß die Permanentmagnete (5, 6) in nicht gleichmäßigen Abständen auf der Mantelfläche des Rotors (4) angeordnet sind, so daß sich die Rastmomente der einzelnen Permanentmagnete weitgehend kompensieren.



DE 41 33 723 A 1

Die Erfindung betrifft einen Drehfeldmotor nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, der insbesondere für den Einsatz in Kraftfahrzeugen geeignet ist.

Ein derartiger Drehfeldmotor ist aus der P 40 25 173.3 bekannt. Der bekannte Drehfeldmotor besteht in seinen wichtigsten Bestandteilen aus einem Rotor, der in einem Stator drehbar gelagert ist. Dieser Rotor weist eine bestimmte Anzahl von Polen auf, die aus auf der Mantelfläche des Rotors symmetrisch und gleichmäßig angebrachten Permanentmagneten gebildet werden, so daß bei einer magnetisch stabilen Lage eines Poles (Permanentmagneten) die benachbarten beiden Pole (Permanentmagnete) sich in einem magnetisch labilen Gleichgewicht befinden, wobei im Idealfall die stabile Lage diejenige ist, bei der der Permanentmagnet in der Mitte eines Steges des Stators steht und die labile Lage diejenige ist, bei der sich der gleiche Permanentmagnet in der Mitte zwischen zwei Stegen, also in der Mitte der Nut befindet.

Der Stator weist ein Statorblechpaket mit einer Anzahl von Nuten und Stegen auf, wobei das Verhältnis zwischen Nuten und Stegen zur Anzahl der Pole des Rotors 3 : 2 beträgt. Jeder Wickelstrang der Statorwicklung ist in mehreren Windungen um einen Steg in zwei zu dem Steg benachbarten Nuten des Statorblechpakets angeordnet und besteht aus zwei Teilen, die radial übereinander auf dem Steg angeordnet sind. Dabei sind die Wickelstränge aus Kupferflachdraht.

Bei einer Drehung des Rotors entsteht durch jeden einzelnen Permanentmagneten auf der Mantelfläche des Rotors ein sogenanntes Rastmoment ( $m_r$ ). Das Gesamt-Rastmoment ( $M_r$ ) ist die Summe aller Einzel-Rastmomente.

Die Größe des Gesamt-Rastmoments ( $M_r$ ) ist unter anderem auch von der Zahnung des Stators abhängig. Unter Zahnung versteht man die Anzahl der Stege oder Nuten pro Längeneinheit bzw. deren Breite. Je gröber die Zahnung, desto größer ist das zu überwindende Rastmoment.

Drehfeldmotoren mit Einzelspulen aus Kupferflachdraht, wie sie aus der oben genannten Druckschrift bekannt sind und insbesondere in Kraftfahrzeugen zur Anwendung kommen, weisen in der Regel eine verhältnismäßig grobe Zahnung auf und haben daher auch ein relativ großes Rastmoment ( $M_r$ ).

Daher ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, mit einfachen Mitteln kostengünstig Maßnahmen zu ergreifen, die das Rastmoment eines Drehfeldmotors reduzieren.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch den im Anspruch 1 gekennzeichneten Drehfeldmotor gelöst. Danach sind die Permanentmagnete in nicht gleichmäßigen Abständen auf der Mantelfläche des Rotors angeordnet, so daß sich die Rastmomente der einzelnen Permanentmagnete weitgehend kompensieren.

Dabei erweist es sich in einem speziellen Ausführungsbeispiel als besonders günstig, bei einem Drehfeldmotor mit einem Stator, bestehend aus einer 11/2-Loch-Wicklung aus Kupferflachdraht (Anzahl der Stege = 1,5 · Anzahl der Permanentmagnete), die Permanentmagnete in Gruppen von vier Magneten so anzuordnen, daß sich die Rastmomente je zweier Gruppen in summa weitgehend selbst kompensieren, da die Permanentmagnete ungleichmäßig, d. h. nicht alle im gleichen Winkelabstand zueinander am Umfang des Rotors verteilt sind.

Diese Aufteilung der Permanentmagnete kann in der

Weise geschehen, daß die Permanentmagnete so angeordnet sind, daß bei zentrischer Stellung eines bestimmten Permanentmagneten unter einem Steg des Stators, ein zweiter Permanentmagnet sich zentrisch unter einer Nut befindet. Ein dritter Permanentmagnet steht dann aus der zentrischen Steglage um einen Viertel-Stegwinkel im Gegenuhrzeigersinn heraus. Ein vierter Permanentmagnet ist ebenfalls aus der zentrischen Nutlage um einen Viertel-Stegwinkel im Gegenuhrzeigersinn gedreht. Unter einem Stegwinkel versteht man den Winkel zwischen zwei benachbarten Stegen.

Bei einem speziellen Motor, der zwei Gruppen von je vier Permanentmagneten aufweist, sind diese Gruppen untereinander um einen Achtel-Stegwinkel entweder im Uhrzeigersinn oder im Gegenuhrzeigersinn gedreht.

Besonders vorteilhaft wirkt sich bei dieser Ausführungsform aus, daß der Einsatz an Magnetmaterial gegenüber herkömmlichen Motoren nicht erhöht wird, da die gleiche Anzahl von Permanentmagneten bei gleicher Motorauslegung benötigt wird.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung ist nicht auf die Merkmalskombination der Ansprüche beschränkt. Für den Fachmann ergeben sich weitere sinnvolle Kombinationsmöglichkeiten von Ansprüchen und einzelnen Anspruchsmerkmalen aus der Aufgabenstellung.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Drehfeldmotor im Querschnitt, bei dem die Statorwicklungen nicht eingezeichnet sind und auf der Mantelfläche des Rotors die Permanentmagnete eingezeichnet sind;

Fig. 2A — 2F die Rastmomente als Funktion des Drehwinkels des Rotors

A — der Einzelmagnete (a) und (b);

B — der Einzelmagnete (c) und (d);

C — die Summe der Einzelmagnete (a) und (b) mit (e) als Resultierende;

D — die Summe der Einzelmagnete (c) und (d) als Resultierende (f);

E — die Summe der Einzelmagnete (a) bis (d) als Resultierende (g) und die Resultierende (h) als Summe der Gruppe (6a — 6d);

F — die Summe aller Magnete als Resultierende (i).

In Fig. 1 ist der erfindungsgemäße Drehfeldmotor im Querschnitt gezeigt, jedoch nicht mit den dazugehörigen zweiteiligen Statorwicklungen. Der Stator 1 besteht aus einem aus Dynamoblech lamellierten Statorblechpaket. In diesem Statorblechpaket befinden sich eine Anzahl von Stegen 2 mit dazwischen liegenden Nuten 3. In der Statorblechpaket-Bohrung ist ein Rotor 4 drehbar gelagert, auf dessen Mantelfläche Permanentmagnete (5, 6) in nicht gleichmäßigen Abständen auf der Mantelfläche des Rotors 4 angeordnet sind. Das Verhältnis der Anzahl der Nuten 3 und Stege 2 des Stators 1 zur Anzahl der Pole, d. h. der Anzahl der Permanentmagnete (5, 6) auf der Mantelfläche des Rotors 4 beträgt 3 : 2.

Die oben erwähnte nicht gezeigte Statorwicklung ist in mehrere Wickelstränge aufgeteilt. Die einzelnen Wickelstränge bestehen aus Kupferflachdraht. Jeder Wickelstrang ist um einen der Stege 2 gewickelt, so daß seine Windungen in je einer Nut 3 liegen, die dem Steg 2 benachbart ist. Die Stege 2 weisen senkrecht zur Achse des Stators 1 einen rechteckigen Querschnitt auf.

Der Rotor 4 setzt sich aus verschiedenen Komponenten

ten zusammen. Diese sind im wesentlichen der Grundkörper des Rotors 4 sowie die auf dem Grundkörper angebrachten Permanentmagnete (5, 6). Die Mantelfläche besteht aus einer Vielzahl von viereckigen geraden Flächen, auf die die Permanentmagnete aufgebracht werden. Aus fertigungstechnischen Gründen sind diese viereckigen Flächen 7 eben ausgeführt, um darauf ebenfalls die mit ebener Grundfläche versehenen Permanentmagnete (5, 6) aufzubringen. Wie der Fig. 1 im einzelnen zu entnehmen ist, befinden sich die Permanentmagnete 5a und 6a in einer symmetrischen Stellung zu den entsprechenden Stegen 2 des Stators. Ebenfalls symmetrisch zueinander befinden sich die beiden Permanentmagnete 5b und 6b, jedoch in einer Mittelstellung über der entsprechenden Nut 3. Die Einzel-Permanentmagneten 5c und 5d sind gegenüber einer symmetrischen Mittelstellung unter einem Steg 2 bzw. Nut 3 um ein Viertel-Stegwinkel im Gegenuhrzeigersinn verdreht. Die Einzel-Permanentmagnete 5a—5d bilden eine Gruppe.

Die folgende Gruppe der Einzelmagnete (6a—6d) ist analog zu der ersten Gruppe (5a—5d) auf der Mantelfläche des Rotors 4 angebracht.

Wie oben bereits erwähnt, entstehen durch die Drehung des Rotors 4 im Uhrzeigersinn aufgrund der Permanentmagnete sogenannte Rastmomente. Die Rastmomente einzelner Permanentmagnete und die Summen der Einzelrastmomente werden in der Fig. 2 graphisch dargestellt. Auf der Abszisse ist der Drehwinkel aufgetragen und auf der Ordinate sind die Rastmomente aufgetragen.

In der Fig. 2A sind die Rastmomente ( $m_R$ ) der Einzel-Permanentmagnete 5a und 5b eingezeichnet. So erzeugt der Einzel-Permanentmagnet 5a beispielsweise zunächst ein linksdrehendes Moment, das im ersten Quadranten des Koordinatensystems eingetragen ist. Bei einem bestimmten Drehwinkel  $\alpha$  des Rotors 4 wird ein Maximalwert erreicht, der bei weiterer Drehung des Rotors 4 wieder abfällt. Dieser Abfall ist nicht symmetrisch zum Anstieg dieses Kurvenzweiges. Bei weiterer Drehung des Rotors stellt sich der Einzel-Permanentmagnet 5a in die Mitte der Nut 3 und es ergibt sich ein labiles Gleichgewicht, so daß das Rastmoment gleich Null ist.

Bei weiterer Drehung steigt der Absolutwert des Rastmoments wieder bis zu einem Maximum an, was jedoch jetzt rechtsdrehend ist und im zweiten Quadranten des Koordinatensystems aufgetragen ist. Dieser Kurvenzweig ist im wesentlichen symmetrisch zum abfallenden Kurvenzweig der Kurve a im ersten Quadranten. Bei weiterer Drehung des Rotors 4 fällt das Rastmoment wieder auf Null ab, d. h. der Einzel-Permanentmagnet 5a befindet sich wieder in einer stabilen Lage.

Aus der Beschreibung geht hervor, daß der Maximalwert des Rastmomentes sich nicht notwendigerweise genau in der Mitte zwischen den drei momentfreien Winkelstellungen einstellen muß. In der Regel ist die Steigung der Kurve in der stabilen und der labilen Nullstellung verschieden. Es ergibt sich also eine Kurve wie sie in Fig. 2A mit dem Buchstaben a dargestellt ist.

Wie in der Fig. 1 gezeigt wurde, liegen die Einzel-Permanentmagnete 5a und 5b gerade in einer stabilen bzw. labilen Nullstellung. Dies ist der Ausgangspunkt, d. h. der Ursprung im gezeigten Koordinatensystem für die Kurven a und b. In symmetrischer Aufteilung der Permanentmagnete auf der Mantelfläche des Rotors 4 wären die Permanentmagnete 5c und 5d in gleicher Stellung bezüglich der Stege 2 bzw. der Nuten 3 des Stators

1. Bei Drehung des Rotors 4 würden sich also analoge Kurven gemäß der Fig. 2C ergeben, die das Summenmoment der Einzelmagnete 5a und 5b darstellt.

Erfindungsgemäß sind hier jedoch die Magnete 5c und 5d um ein Viertel des Winkels zwischen zwei Stegen entgegen dem Uhrzeigersinn verdreht. Die Rastmomente  $m_R$  der Einzel-Permanentmagnete 5c und 5d sind in der Fig. 2B wiedergegeben. Aus der Summenbildung der beiden Kurven c und d ergibt sich das Rastmoment, deren Verlauf in Fig. 2D in der Kurve f gezeigt ist.

Wie leicht zu erkennen ist, verlaufen die Kurven e und f gegenphasig, so daß sich auch hier wieder die Momente teilweise gegenseitig aufheben. Es entsteht also ein resultierendes Moment aller Magnete 5a—d, wie dies in der Fig. 2E mit der Kurve g gezeigt wird. Für den Fall, daß die Einzel-Permanentmagnete 6a—6d um ein Achtel des Winkels zwischen zwei Stegen gegenüber den Magneten 5a—5d montiert sind, so ergibt sich für die Einzel-Permanentmagnete 6a—6d die resultierende Kurve h. Für den gesamten Motor, also für alle Einzel-Permanentmagnete ergibt sich nunmehr als resultierendes Rastmoment ( $M_R$ ) die Kurve i, wie sie der Fig. 2F zu entnehmen ist. Dabei wurde der Maßstab der Ordinate aller Rastmomente in Fig. 2 beibehalten, d. h. nicht geändert.

Mit diesem Ergebnis ist klar ersichtlich, daß die erfindungsgemäße Aufteilung der Einzel-Permanentmagnete in Gruppen und in nicht gleichmäßigen symmetrischen Abständen zueinander auf der Mantelfläche des Rotors 4 eine drastische Reduzierung des Gesamtrastmoments  $M_R$  zur Folge hat, was ein wesentlicher Vorteil gegenüber herkömmlichen vergleichbaren Drehfeldmotoren darstellt.

#### Patentansprüche

##### 1. Drehfeldmotor mit

- einem Stator (1), dessen Zahnung verhältnismäßig grob ist und Einzelspulen aus Kupferflachdraht aufweist;
- einem Rotor (4), auf dessen Mantelfläche (7) Permanentmagnete (5, 6) angebracht sind,
- einem Verhältnis von 3 : 2 zwischen den Nuten und den Polen des Stators,

dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnete (5, 6) in nicht gleichmäßigen Abständen auf der Mantelfläche des Rotors (4) angeordnet sind, so daß sich die Rastmomente der Einzel-Permanentmagnete weitgehend kompensieren.

2. Drehfeldmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnete (5, 6) jeweils in Gruppen (5a, 5b, 5c, 5d; 6a, 6b, 6c, 6d) auf der Mantelfläche des Rotors (4) angeordnet sind, wobei sich die Rastmomente innerhalb jeder Gruppe teilweise kompensieren.

3. Drehfeldmotor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Winkelabstände der Magnete innerhalb einer Gruppe bei jeder der Gruppen identisch sind.

4. Drehfeldmotor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gruppe aus vier Permanentmagneten gebildet ist.

5. Drehfeldmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnete folgendermaßen bei zentrischer Lage eines ersten Magneten (5a) unter einem Steg (2) angeordnet sind:

- ein zweiter Magnet zentrisch unter einer

Nut steht,

— ein dritter Magnet aus der zentrischen Steglage um einen Viertel-Stegwinkel im Uhrzeigersinn gedreht ist, und

— ein vierter Magnet aus der zentrischen Steglage um einen Viertel-Stegwinkel im Gegenuhrzeigersinn gedreht ist.

6. Drehfeldmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Gruppen untereinander verschoben sind, so daß die Winkel zwischen den Mittelachsen der Gruppen nicht gleich sind und die Rastmomente der Gruppen sich gegenseitig weitgehend kompensieren.

7. Drehfeldmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (4) zwei Gruppen mit jeweils vier Permanentmagneten aufweist.

8. Drehfeldmotor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils zwei Gruppen von vier Magneten gegeneinander um einen Achtel-Stegwinkel gedreht sind.

9. Drehfeldmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Blechpaket des Stators (1) gerade, ohne Schränkung ausgebildet ist.

10. Verfahren zur Reduzierung des Rastmomentes bei einem Drehfeldmotor mit

— einem Stator (1), dessen Zahnung verhältnismäßig grob ist und Einzelspulen aus Kupferflachdraht aufweist;

— einem Rotor (4), auf dessen Mantelfläche (7) Permanentmagnete (5, 6) angebracht werden,

dadurch gekennzeichnet, daß die Permanentmagnete in nicht gleichmäßigen Abständen auf der Mantelfläche des Rotors (4) angeordnet werden, so daß sich die Rastmomente der einzelnen Permanentmagnete weitgehend kompensieren.

11. Verwendung des nach Anspruch 1 herzustellenden Drehfeldmotors in einem Kraftfahrzeug.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

FIG. 1

